

氏名(本籍)	池田 貴公		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第	7291	号
学位授与年月日	平成 27 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	fMRI による歩行模擬動作時の脳機能解析を可能とする 下肢動作提示システム		
主査	筑波大学 客員教授 (名古屋大学大学院工学研究科)	博士(工学)	長谷川 泰久
副査	筑波大学 教授	工学博士	山海 嘉之
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	鈴木 健嗣
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	矢野 博明

## 論文の要旨

本論文では歩行を模擬する動作をはじめとする下肢動作に係る脳の領域および領域間の連携を明らかにする為に、歩行模擬動作時の脳活動を MRI (核磁気共鳴画像) により計測可能とする下肢動作提示システム LoMS の研究開発を行っている。LoMS は MRI により脳活動を撮像中に被験者へ歩行模擬動作を提示するため、LoMS の開発において MRI 適合性を有すること、および歩行模擬動作を提示することにより被験者へ歩行動作感覚を与えることを LoMS の要件としている。開発した LoMS が二つの条件を満たすことを MRI 適合性試験および歩行模擬動作提示性能評価により確認している。MRI 適合性試験は二つの試験から構成されており、一つ目の試験である磁化率アーチファクト試験では MRI 寝台に取り付けた LoMS の存在および動作により MRI の撮像画質が低下しないことを示している。二つ目の試験である RF パルスノイズ試験では MRI の撮像動作に伴う電磁波により LoMS の関節角度計測が影響を受けないことを示している。歩行模擬動作提示性能評価では歩行模擬動作時の被験者の筋活動に着目し、トレッドミル歩行と同等の筋活動が生じることを示している。これらの必要条件を満たす本システムを用い、人へ歩行模擬動作を提示している際の脳活動を fMRI により計測し、歩行に関連するとされる脳領域が歩行模擬動作時に賦活することを確認している。更に、二つの下肢動作時の脳活動解析を行い、下肢に負荷を掛けることにより随意的な動作フィードバックを必要とする動作に、下頭頂葉 40 野が関連することを示している。また、下肢動作時における感覚フィードバックである足底への反力提示により、下肢の動作状態を容易に把握することが可能となり下肢感覚に基づく動作状態の推定が行われ、足底反力を提示しない場合と比較して一次体性感覚野の賦活領域が背側へ広がることを示している。

## 審査の要旨

### 【批評】

人が歩行動作を行う際の脳活動を MRI によって計測する研究はこれまで存在せず、本論文のように MRI 撮像中に下肢の各関節へトルクを与え、足底へ反力を与えることにより歩行模擬動作を提示可能なシステムを開発し、歩行模擬動作中の脳活動を MRI により計測することは挑戦的な研究である。この課題を達成するために、動作提示システムが満たすべき条件として MRI 適合性と歩行動作感覚を提示可能であることとし研究開発を行い、各条件を満たすことを実験にて評価している。

まず、動作提示システムが MRI 適合性を有することを確認する為に、MRI の撮像原理に基づいた適切な評価手法を立案し、MRI とシステムが相互に悪影響を与えないことを示していることが評価できる。また、動作提示システムの動作提示制御手法の設計において、本システムが提示する歩行模擬動作が被験者へ与える動作感覚を評価するために、人が歩行する時の筋活動特性に着目した独自の評価指標を提案している。独自の評価指標により、仰臥位の被験者へシステムが歩行模擬動作を提示する際の筋活動がトレッドミル歩行時の筋活動と同様であることを確認し、本システムによる歩行模擬動作提示により被験者へ目的とする歩行動作感覚を提示可能であることを示している点が評価できる。次に、実際に動作提示システムを用いて仰臥位での歩行模擬動作を行っている被験者の脳活動を計測し、歩行に関連するとされる脳の領域が賦活することを確認し、本論文の目的である歩行模擬動作時の脳活動計測を実現している。

更に、開発した動作提示システムを用いて二つの動作課題を被験者へ提示している際の脳活動の計測をし、随意的なフィードバックを行う動作に伴い強く賦活する脳領域と、足底反力を提示しないことにより脳活動がどのように変化するかを示している。これらの脳活動計測による結果は、脳神経科学において新たな知見である。

以上より、本研究により開発した動作提示システムは歩行模擬動作をはじめとした下肢動作時の脳活動を MRI により計測可能しており、下肢動作に係る脳機能の解析に大きく貢献し、脳神経科学に新たな知見をもたらすと考える。また、動作提示システムは MRI を用いた下肢動作時の脳機能解析において標準的なシステムとして利用可能であると考えられ、高く評価でき、博士（工学）にふさわしい研究成果である。

### 【最終試験の結果】

平成 27 年 2 月 6 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。